云 南 植 物 研 究 2002，24（1）：109～114
Acta Botanica Yunnanica

不同季节播种玉米的氮肥生产力和利用率*

张石宝[1]，李树云[1]，尹树华[2]，胡丽华[2]，普琼芬[3]
（1 中国科学院昆明植物研究所，云南 昆明 650204；2 蒙自县农业技术推广中心，云南 蒙自 661100；
3 蒙自县草坝镇农科站，云南 蒙自 661100）

摘要：本文在云南省蒙自县对不同季节播种玉米的氮肥利用率和生产力进行了研究，结果表明：不同季节播种玉米氮肥的利用率、吸收量、转移率和生产力存在差异。氮肥的利用率由冬玉米（64．7%）、春玉米（61．2%）、夏玉米（49．6%）到秋玉米（41．4%）有降低的趋势，并且与氮肥吸收量存在显著的正相关（r＝0．9997）。花丝期营养器官的含氮量与氮在籽粒中的分配和收获指数紧密相关（分别为 r＝0．9714 和 r＝0．9848），表明籽粒中累积的氮来源于花丝期前茎和叶中累积的氮。根据试验结果，提出各季播种玉米的施氮技术。

关键词：不同播期玉米；氮转移率；氮利用率；氮生产力
中图分类号：Q 945　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0253－2700(2002)01－0109－06

Productivity and Utilization Efficiency of Fertilizer－N in Different Sowing－season Maize（Zea mays L.）

ZHANG Shi－Bao[1]，LI Shu－Yun[1]，YIN Shu－Hua[2]，HU Li－Hua[2]，PU Qiong－Fen[3]
（1 *Kunming Institute of Botany*，*The Chinese Academy of Sciences*，Kunming 650204，China；
2 *Mengzi County Agricultural Technique Popularization Center*，Mengzi 661100，China；
3 *Caoba Town Agricultural Technique Popularization Station*，Mengzi 661101，China）

Abstract：The present paper deals with the productivity and utilization efficiency of fertilizer－N in maize sown in different season in Mengzi，Yunnan province. The results are as follow：There are different utilization of fertilizer－N including the absorbing amount，transferring rate and productivity in the plants sown in different season. They have a depressive trend of utilization efficiency from that sown in Winter（64．7%），in Spring（61．2%），in Summer（49．6%），in Autumn（41．4%）. The utilization efficiency of fertilizer－N has a significant positive correlation to the absorbing amount in maize（r＝0．9997）. The N content of vegetative organs in silking stage is closely correlated with the N distribution in grains and its HI（r＝0．9714 和 r＝0．9848）. It confirms that the accumulation N in the grains comes from those accumulated in stems and leaves before silking. Based upon this data，a scheme of applying fertilizer－N to each sowing－season maize is suggested.

Key words：Different sowing－season maize；N transferring rate；Productivity of N；Utilization efficiency of fertilizer－N

* 基金项目：云南省“九五”攻关（95A7－2）和云南省－中科院科技合作项目的部分。
收稿日期：2000－11－27，2001－02－06 接受发表
作者简介：张石宝（1970－）男，在职硕士研究生，主要从事植物生理生态学和高山花卉研究。

氮是决定作物产量的关键因素，因为它是碳同化关键酶 RuBP 羧化酶及 PEP 羧化酶和叶绿素的重要组成部分（Osaki et al，1995a），直接影响叶片光合能力的高低和光合作用时间的长短。玉米是一种高光效的 C_4 植物，对 N 肥的依赖尤大。通常玉米产量随吸 N 量的增加而增加（Tasai 等，1978；陈国平等，1986；Bangraula，1988；Osaki 等，1995b，1995c；Voss 等，1970），但是不同时间播种的玉米，由于所接受的光温条件差异，对 N 的吸收和转移以及氮肥的利用率、生产力必然不同，在这方面直接的比较研究尚未见报道。本研究系统地对春、夏、秋、冬四季播种玉米的 N 肥生产力和利用率进行比较，为各季玉米合理施 N 提供一些可供借鉴的依据。

1 材料与方法

1.1 试区的主要气象因子

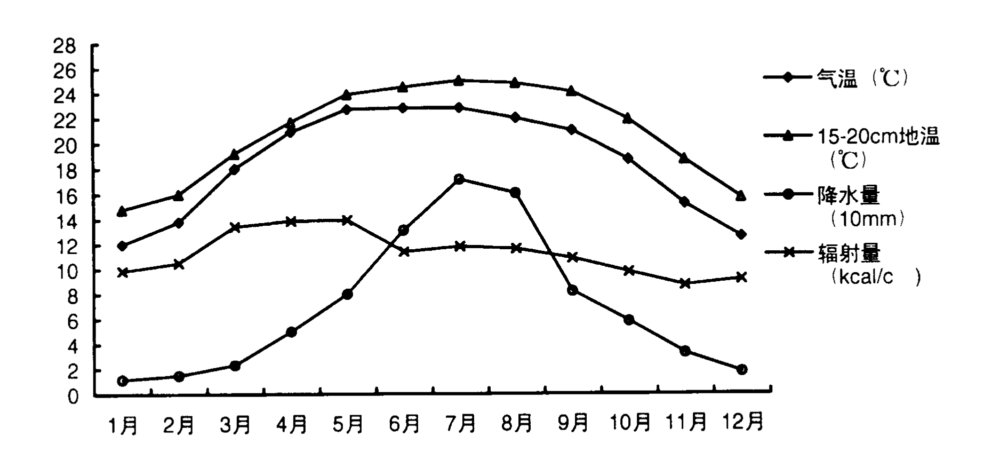


图 1 蒙自坝区主要气象因子（气象资料来源于《云南省农业气候资料集》）

Fig. 1 Main meteorological factors in Mengzi Basin

1.2 供试土壤

试验设置在蒙自县草坝镇的水稻田上，土壤类型为沼泽土，经测试土壤含：有机质 2.36%，全氮（N）0.136%，有效磷（P_2O_5）35 mg/kg，速效钾（K_2O）142 mg/kg，pH 值 6.5－7.0。

1.3 试验设计

试验于 1996—97 年进行，试验地为南亚热带气候类型地区，冬玉米（覆膜）于 1996 年 12 月 4 日播种，1997 年 5 月 14 日收获，生育期 171 d；春玉米 1997 年 3 月 12 日播种，7 月 25 日收获，生育期 125 d；夏玉米 1997 年 5 月 30 日播种，9 月 25 日收获，生育期 101 d；秋玉米 1997 年 8 月 22 日播种，12 月 24 日收获，生育期 125 d。冬播玉米用京杂 6 号，春、夏、秋玉米用云单 13 号，均为中熟品种。采用起墒开沟点播，墒面宽 1.6 m，沟宽 0.4 m，每墒 3 行，株距 0.2 m。各种植 1 300 m^2，每平方米最终存留量均为 7.5 株。施肥量均为：基肥 N 6.75 g/m^2，P_2O_5 11.4 g/m^2，K_2O 10.2 g/m^2；分两次追施氮肥，第一次 8－9 叶期（冬玉米破膜间苗后），用量 13.5 g/m^2，第 2 次为大喇叭口期，用量 6.75 g/m^2。以不施底肥、不追肥作为对照。

1.4 测试方法

花丝期和成熟期各取样5株，分为茎、鞘、叶、雄穗、苞叶、穗轴、籽粒和枯死八部分，在80℃下烘干48 h称重，分析各部分的含氮量，定N采用半微量凯氏法。同时测量叶绿素含量和叶面积，叶面积按Mckee法（Mckee，1964），即长×宽×0.75，计算10株的平均值。叶绿素含量用Arnon法（Arnon，1949），在岛津分光光度计UV—260上测定，用Inskeep公式计算叶绿素a和b的含量，取3次重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 花丝期叶片含N量与叶绿素含量

从表1可看出，在花丝期，春玉米的叶片含N量、叶绿素含量最高，而秋玉米最低。春、夏、秋、冬四季玉米抽雄期的叶片含氮量与叶绿素含量（a+b）（$r=0.7342$）、和与叶面积指数（LAI）（$r=0.9007$）存在一定相关性，但与LAI的相关性更显著一些，因为叶绿素的形成还受光照、温度、pH值的影响（吴绍睽等，1980）。春玉米的花丝期为5月25日、夏玉米7月26日、秋玉米11月14日、冬玉米4月1日。草坝地区3-5月是一年中光照最好的时期，日照时数675.8 h，占全年的30.4%；而6-10月高温寡照，日照时数仅有748 h，占全年的33.7%。冬、春玉米的花丝期恰好处于光照高值期，春玉米的叶片含氮量和叶绿素含量均最高，夏玉米虽花丝期含氮量较高，因处于高温寡照期，叶片生长快而薄，LAI最大，叶绿素含量不如春玉米。秋玉米光温条件不协调，叶绿素含量、叶片含氮量、叶面积指数均最低。

表1 花丝期叶片含N量与叶绿素含量和叶面积指数

Table 1 N content and chlorophyll content of leaf and LAI when silking

	叶片含N量 (g/m^2) N content of leaf	叶面积指数 LAI	叶绿素a (mg/dm^2) chlorophyll a content	叶绿素b (mg/dm^2) chlorophyll b content	chla+chlb (mg/dm^2) total chlorophyll content
春玉米 spring corn	7.025	2.51	4.84	1.03	5.87
夏玉米 summer corn	5.557	3.49	3.80	0.87	4.67
秋玉米 autumn corn	2.210	2.17	1.07	0.44	1.51
冬玉米 winter corn	4.173	2.42	3.37	0.72	4.09

2.2 不同播期玉米的N吸收量和转移率

试验表明，春玉米、夏玉米从苗期到花丝期温度高，尤其春玉米光照好，根系和植株的生理活性强，前期吸N量明显高于后期，后期仅占26.2%。冬玉米前期温度低，后期光温条件好，吸氮量多于前期，吸N量占68.4%；秋玉米和冬玉米类似，花丝期后吸氮量也高于前期。春、夏玉米的籽粒生产动用了前期营养体中积累的N，秋、冬玉米由于库的限制，花丝期后吸收的N也不能很好转移。N转移率与收获指数以春玉米最高。N的转移率与收获指数存在正相关（$r=0.8157$），秋玉米因灌浆后期气温低，对其物质运输可能有较大的抑制，氮转移率出现-25.2%的结果。对冬玉米来说，则主要受库容（穗粒数）小的限制。

表2 不同播期玉米N的吸收量和转移率与经济性状

Table 2 Relationship between N transfer rate and absorbed N amount and economical characteristics of different sowing - season corn

	花丝期前吸N (g/m^2) absorbed N amount before silking	花丝期后吸N (g/m^2) absorbed N amount after silking	后期占 %	籽粒含N (g/m^2) N content of grain	转移率% % of N transfer	收获指数 HI	穗粒数 (粒/穗) grains/ear	百粒重 (g) weight/100 grains
春玉米 spring corn	14.097	5.003	26.2	13.594	53.8	46.9	445.0	25.1
夏玉米 summer corn	9.269	6.531	41.3	9.494	19.2	46.2	500.4	27.4
秋玉米 autumn corn	5.172	8.428	62.0	4.010	-25.2	29.4	400.4	22.9
冬玉米 winter corn	6.293	13.607	68.4	12.512	-8.8	42.4	373.8	28.7

2.3 氮的再分配和对籽粒的贡献

表3 不同播期玉米氮的再分配及其对籽粒N的贡献

Table 3 Redistribution and contribution of N for grain in different sowing - season corn

	花丝期营养体含N量① (g/m^2) N content of vegetative organ at silking	成熟期营养体含N量 (g/m^2) N content of vegetative at mature	成熟期籽粒含N② (g/m^2) N content of grain at mature	N再分配率 % of N redistri - bution	N对籽粒N的贡献率③ % of N contribution for grain	N收获指数④ HI (N)
春玉米 spring corn	11.963	4.683	13.594	60.8	53.5	75.5
夏玉米 summer corn	8.657	4.761	9.494	45.0	41.0	60.2
秋玉米 autumn corn	4.008	4.614	4.010	-15.1	-12.1	36.8
冬玉米 winter corn	6.597	5.146	12.512	22.0	11.6	55.3

①营养体含氮量包括叶、鞘、茎、雄穗和枯死部分；②N再分配率 = （花丝期营养体含氮量 - 成熟期营养体含氮量）/花丝期营养体含氮量；③N对籽粒的贡献率 = （花丝期营养体含N量 - 成熟期营养体含N量）/成熟期籽粒含N量；④N收获指数 = 籽粒N累积量/植株吸N总量

本试验中，营养体N素的再分配率、对籽粒N的贡献率和N的收获指数的大小顺序为春玉米 > 夏玉米 > 冬玉米 > 秋玉米，各季玉米营养体的含氮量在花丝期前差异较大，成熟期这种差异不明显，花丝期前营养体的含氮量与其N对籽粒N的贡献率、N收获指数存在明显正相关（分别为 $r=0.9714$ 和 $r=0.9848$），表明籽粒积累的N来自于花丝期前茎、叶中积累N素的再转移（Crawford et al，1982）。另外冬玉米每平米的吸N总量比春玉米还要略高一些（表4），但冬玉米营养体的N对籽粒N的贡献率、N收获指数均小于春玉米，看来在施氮量相同的条件下，N的再分配及其对籽粒N的贡献率主要取决于花丝期前营养体的含氮量（或者说花丝期前的氮吸收量，见表2），而这又取决于当时的光温条件（见前），后期大量吸N并不能提高N素的再分配，增加籽粒N的累积，提高N的收获指数。

2.4 不同播期玉米的氮肥利用率和生产力

本研究中，氮肥的利用率依次为冬玉米 > 春玉米 > 夏玉米 > 秋玉米，氮肥的生产力为冬玉米 > 夏玉米 > 春玉米 > 秋玉米。各季玉米吸N总量与N肥利用率显著相关（$r=0.9997$），但N的利用率与N的生物学生产力、经济生产力的相关性并不显著（分别为 $r=$

0.8238和 r = 0.8434)，这表明碳水化合物的生产受大的叶面积与良好的光照匹配影响更

表4　不同播期玉米N的利用率和生产力比较（差减法计算）

Table 4　Comparison of productivity and utilization efficiency of Fertilizer – N of different sowing – season corn

	施N量 (g/m²) amount of applied N	生物产量 (g/m²) biological yield	经济产量 (g/m²) economical yield	吸N总量 (g/m²) total N absorbed	N肥利用率% utilization efficiency of N	生物产量/施N量 biomass yield/applied N	经济产量/施N量 economical yield/applied N
春玉米 spring corn	27.0	2072.3	971.3	19.1	61.2	76.8	35.9
夏玉米 summer corn	27.0	2313.8	1068.8	15.8	49.6	85.7	39.6
秋玉米 autumn corn	27.0	1888.5	555.0	13.6	41.4	69.9	20.6
冬玉米 winter corn	27.0	2565.8	1087.5	19.9	64.7	95.0	40.3

大。冬玉米生育前期虽然气温低，但覆膜提高了地温。据我们测定地膜覆盖可使10 – 15 cm土层地温提高3 – 6℃，较高的土温促进肥料中的N转化为硝态N，迅速被植株吸收（王喜庆等，1998)，花丝期前后光照条件好，昼夜温差大，因而吸氮量最多，更主要是由于其花丝期后有较大的叶面积和良好的光照条件，干物质积累多，N的生产力提高。春玉米虽然吸氮量和氮肥利用率也较高，但其花丝期后光照条件差，干物质生产不足，其N的生产力不高。秋玉米整个生育期温度偏低，尤其是花丝期后，所以吸N量最少，N肥利用率和生产力也最低。

3　讨论与小结

氮肥一方面促进叶片生长，改变玉米的冠层特征，同时提高叶片的叶绿素含量，延缓叶片衰老的功能（Osaki，1995)。从本试验四季玉米花丝期叶片的含N量与叶绿素含量、叶面积指数的比较中发现，N素不是影响叶绿素含量高低的唯一因子，光照、温度、pH值也有很大影响（吴绍睽等，1980)。常规施N的原则通常是以产定氮，但施氮量过多，会导致叶片徒长而恶化光合环境，叶绿素含量下降，光合能力降低（何萍等，1998)，并使叶片中的N向籽粒转运减少（金继运等，1999)。因此施氮还应根据不同播种期玉米所处的光温环境，考虑对N的吸收能力和利用效率确定合适的施氮时期和施氮量。

Guitman指出叶片N的转移率对籽粒N积累有重要作用（Guitman，1991)。本研究中，氮的转移率与籽粒N的含量的相关性不明显（r = 0.7092)。因为在没有水分限制的条件下，N的吸收和转移受施氮量、温度的影响最大（Hanway，1962)，也影响N的利用率。不过N的生产力在很大程度上还受光照的影响，光照条件好，生产出的碳水化合物多，N的生产力也相应提高。春、夏、秋、冬四季玉米中，冬玉米的生产力和氮肥利用率均最高。

从上述分析，我们认为冬玉米生育期长，光照条件好，施氮量可大一些，除施足底肥外，最好破膜后和大喇叭口期各追N肥一次，且破膜后追肥应多一些，因为此次追肥对库的构建有重要影响。春玉米前期光热条件好，养分吸收量和干物质积累量大，N肥应早施，且前重后轻。夏玉米整个生育期高温寡照，氮肥应在早期施用。秋玉米前期温度较高，生长快，但后期温度低，氮多反而抗性差，可作底肥一次施入。

致谢 本文在李存信研究员的指导下完成，朱勇、普文法、龙丽仙、张凤丽等同志参加部分工作。

〔参 考 文 献〕

吴绍骙，韩锦峰，石敬之.1980. 玉米栽培生理［M］. 上海：上海科学技术出版社，222—226

Arnon DJ，1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxide in *Beta vulgaris*［J］. *Plant physiology*，**24**：1—15

Bangraula AS，Kairon MS，1988. Effect of plant density，and level and proportion of nitrogen on growth，yield and yield components of winter maize（*Zea mays*）［J］. *Indian Journal of Agriculture*，**58**（11）：854—856

Chen GP（陈国平），Yu DM（尉德铭），Liu ZW（刘志文），*et al*，1986.The model of development and control technique for a high yieding summer maize［J］. *Scientia Agricultura Sinica*（中国农业科学），**19**（1）：33—40

Crawford TW，Rending VV，Broadbent FE，1982. Sources，fluxes and sinks of nitrogen during early reproductive growth of maize［J］. *Plant physiology*，**70**：1654—1660

Guitman MR，Arozis RA，Barneix AJ，1991. Effect of source－sink relations and nitrogen on senescence and N remobilization in the flag leaf of wheat［J］. *Physiol. plant*，**82**：275—278

Hanway JJ，1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility：II.Uptake of N，P，and their distribution in different pant parts during the growing season［J］. *Agronomy Journal*.217—222

He P（何萍），Jin JY（金继运），Lin B（林葆），1998. Effect of N application rates on leaf senescence and its mechanism in spring maize［J］. *Scientia Agricultura Sinica*（中国农业科学），**31**（3）：66—71

Jin JY（金继运），He P（何萍），1999. Effect of N and K nutrition on post metabolism of carbon and Nitrogen and grain weight formation in maize［J］. *Scientia Agricultura Sinica*（中国农业科学），**32**（4）：55—62

Mckee GW，1964. A coefficient for computing leaf area in hybrida corn［J］. *Crop science*，**4**：240—241

Osaki M，1995a.Comparison of productivity between tropical and temperate maize：I.leaf senescence and productivity in relation to nitrogen nutrition［J］. *Soil Sci Plant Nutr*，**41**（3）：439—450

Osaki M，1995b.Comparison of productivity between tropical and temperate maize：II.parameters determining the productivity in relation to the amount of nitrogen absorbed［J］. *Soil Sci Plant Nutr*，**41**（3）：451—459

Osaki M M，Iyoda and T.Tadano.1995c.Ontogenetic changes in the contents of ribulose－1，5－bisphohate carboxyase/oxygenase，phosphoenolpyruvate carboxylase，and chlorophyll in individual leaves of maize［J］. *Soil Sci Plant Nutr*，**41**（2）：285—293

Rhoads FM，and RL，Stanley.1984. Yield and nutrient utilization efficiency of irrigated corn［J］. *Agronomy Journal*，**76**：219—223

Tsai CY，Huber DM，1978. Relation of the kernel sink for N to maize productivity［J］. *Crop Sci*，**18**：399—404

Voss RE，Hanway JJ，1970. Relation between grain yield and leaf N，P，and K concentrations for corn（*Zea mays L.*）and the factors that influence this relationship［J］. *Agronomy Journal*，**62**：726—728